



Buntning av grot med lastbilsmonterad utrustning

Bundling of logging residues by a truck mounted bundler

Torbjörn Edman

**Arbetsrapport 251 2009
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Tomas Nordfjell**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
S-901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-251-SE

Buntning av grot med lastbilsmonterad utrustning

Bundling of logging residues by a truck mounted bundler

Torbjörn Edman

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot skogsteknik, 30hp
Jägmästareprogrammet
EX0492

Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi
Examinator: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, teknologi
Uppdragsgivare: Holmen Skog AB, Rebio AB

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning.....	4
Abstract.....	5
1 Inledning.....	6
2 Material och metoder.....	9
2.1 Försökslokaler	9
2.2 Maskiner	12
2.3 Tidsstudier	15
2.4 Torrhaltsanalys	18
2.5 Värmevärdesanalys.....	19
2.6 Ekonomi	19
3 Resultat	20
3.1 Grotbuntning.....	20
3.2 Transport.....	24
3.3 Krossning.....	26
3.4 Torrhalt	26
3.5 Värmevärde	26
3.6 Ekonomi	27
4 Diskussion	31
4.1 Buntar	31
4.2 Maskiner	31
4.3 Tidsåtgång	32
4.4 Produktivitet	33
4.5 Ekonomi	33
4.6 Jämförelse med befintligt system	33
4.7 Förbättringsförslag	37
4.8 Behov av fortsatta studier	38
4.9 Slutsatser.....	38
Referenser	39
Litteraturkällor.....	39
Elektroniska källor.....	40
Personlig kommunikation.....	40
Bilaga 1. Tekniska data Rogbico GTK 5100.....	41
Bilaga 2. Tekniska data CBI 8400.....	42
Bilaga 3. Systemkostnad brun buntad grot.....	43
Bilaga 4. Systemkostnad brun lös grot.....	44
Bilaga 5. Systemkostnad grön buntad grot.....	45
Bilaga 6. Systemkostnad grön lös grot.....	46

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 högskolepoäng (hp) på D-nivå och ingår som en avslutande del i min utbildning på jägmästarprogrammet vid SLU i Umeå. Examensarbetet har genomförts vid Institutionen för skoglig resurshushållning, avdelningen för planering och teknologi. Uppdragsgivare för arbetet har varit Holmen Skog AB och Rebio AB.

För god hjälp under arbetets gång vill jag framförallt tacka min handledare professor Tomas Nordfjell på Institutionen för skoglig resurshushållning och Daniel Johansson på Holmen Skog AB vid stab skogsteknik. Ett stort tack även till förarna av de maskiner som studerades samt följande personer:

Dan Bergström, Institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU, som klargjorde de metoder som används vid värmevärdesberäkningar.

Anders Löfgren, Skellefteå Kraft AB, som bidrog med hjälp vid framtagandet av fukthaltsprover.

Charlotta Norman, Holmen Skog AB, som med stor hjälpsamhet bidrog med framtagandet av försökslokaler.

Peter Christoffersson, Holmen Skog AB, som delade med sig av sin marknadskunskap om biobränsle.

Peter Brekke, Rebio AB, som bidrog med marknadskunskap.

Petter Johansson, Svea Skog AB, som vid ett studiebesök klargjorde lämpligt arbetssätt vid tidsstudier av denna typ.

Peter Sohlander, BBX Bioforest AB, som assisterade vid mätningsarbetet i fält.

Lennart Nilsson, BBX Bioforest AB, som med ställde upp med lastbilsbuntaren.

Umeå, maj 2009

Torbjörn Edman

Sammanfattning

Vid transport av grot är bulkigheten ett problem som resulterar i lågt lastutnyttjande. Genom flisning, eller komprimering till buntar, kan högre lastvikter uppnås. I föreliggande examensarbete studerades buntning av grot med en buntningsmaskin monterad på ett lastbilschassi, samt efterföljande transport och krossning. Lastbilsbuntaren skapade buntar som var större, tyngre och längre än andra buntar på marknaden. Målen var att fastställa tidsåtgång och tidfördelning för ingående maskiner, och att mäta gröna och bruna grotbuntars andel torrsubstans. Dessutom belystes systemets ekonomi.

Basen i examensarbetet var de tidsstudier som genomfördes på lastbilsbuntaren, transporten och krossningen. En försökslokal genererade brun grot och en annan försökslokal grön grot. Producerade grotbuntar transporterades med grotlastbil till industri där de krossades. Torrhalt och värmevärde fastställdes.

Producerade buntar var i medeltal 5,1 m långa och 0,88 m i diameter. De vägde 716 kg (419,5 kg torrsubstans) och hade ett effektivt värmevärde på 2,1 MWh. Torrhalten för bruna och gröna buntar var 62,4 respektive 54,9 procent. Produktiviteten var 11,9 buntar per G_0 -tim och ingen signifikant skillnad i totaltid fanns mellan de två grottyperna. På 5,47 c-min producerades en bunt vilket motsvarade 4,95 ton TS per G_0 -tim.

Maximal last på lastbil och släp var 30 buntar (21,5 ton) och lastkapaciteten utnyttjades till 69 procent.

Krosskapaciteten uppmättes till 177 buntar per G_0 -tim vilket motsvarade 73,5 ton TS per timme.

Kostnad för komprimering, lastning, lossning, krossning och transport var 89,7 kr/MWh för bruna buntar och 94,0 kr/MWh för gröna buntar plus en transportkostnad på 0,41 kr/MWh per km (bruna buntar) eller 0,47 kr/MWh per km (gröna buntar).

Jämfört med obuntat material var bruna buntlass lönsamma i systemanalysen när transportavståndet översteg 100 km. Motsvarande transportavstånd för gröna buntar var 75 km.

Nyckelord: biobränsle, grotbuntare, produktivitet, systemanalys, värmevärde.

Abstract

During the transportation of logging residues (LR) the material's low density is a problem that results in low use of pay-load capacity. Comminution or compression of LR are possible methods to increase pay-loads. In the present thesis studied a bundling machine which was mounted on a truck chassis, and the subsequent transport and crushing. The truck bundler created bundles that were larger and longer than other bundling equipment on the market. The objectives were to determine the total time consumption and its allocation over work element and machinery, to measure dry matter (DM) content of green and brown LR-bundles. In addition the objectives was also, the system's economy was addressed.

The base of the thesis was the time studies which were conducted on bundling, transport and crushing. One study site generated brown LR and another green LR. Produced bundles were transported by truck to industry where they were crushed. DM content and net calorific value were determined.

Produced bundles were on average 5.1 m long and 0.88 m in diameter. DM content of brown and green bundles were 62.4 and 54.9 percent. The mean mass was 716 kg (419.5 kg DM) and contained a net calorific value of 2.1 MWh. The productivity was 11.9 bundles per E₀-hour with no significant difference between the two LR types. To produce one bundle required 5.47 c-min which correspond to 4.95 tonnes DM per E₀-hour.

Maximum load on the truck and trailer were 30 bundles (21.5 tons) and pay-load capacity was used to 69 percent.

Crushing capacity was 177 bundles per E₀-hour, which corresponded to 73.5 tonnes DM per hour.

Fix cost for the compression, loading, unloading, crushing and transport was 89.7 SEK/MWh for brown bundles and 94.0 SEK/MWh of green bundles plus a transport cost of 0.41 SEK/MWh per km and 0.47 SEK/MWh per km, respectively.

Compared to loose LR, brown LR-bundles were profitable in the system analysis to transport when the distance exceeded 100 km. The corresponding transport distance for the green bundles was 75 km.

Keywords: biofuel, bundler, productivity, system analysis, net calorific value.

1 Inledning

Sveriges regering fastställde 1997 riktlinjer för energipolitiken i landet. ”Målet är att på kort och lång sikt trygga tillgångarna på el och annan energi på med omvärlden konkurrenskraftiga villkor.” ”Energiolitiken ska skapa villkor för en effektiv och hållbar energianvändning och en kostnadseffektiv svensk energiförsörjning med låg negativ påverkan på hälsa, miljö och klimat samt underlätta omställningen till ett ekologiskt hållbart samhälle” (Energimyndigheten, 2008).

Regeringen har som mål att bryta Sveriges oljeberoende till år 2020. En djärv målsättning som omfattar hela samhället. Ett av målen är att uppvärmning av lokaler och bostäder i princip inte ska ske med olja. De senaste trettio åren har Sverige minskat sin olje användning för uppvärmning med 70 %. Det har bl.a. skett genom att oljan ersatts med skogsbränsleledd fjärrvärme, en trend som fortsätter att öka (Regeringen, 2008).

Den svenska energipolitikens ambitioner att ersätta fossila bränslen och kärnkraft med bioenergi har lett till ett allt större intresse att ta tillvara grot (**grenar och toppar**) (Löfgren, 2004). Biobränsle delas in i fem undergrupper utifrån råvarans ursprung. Från skogen kommer trädbränslen och avlutar. Jordbruket bidrar med åker- och torvbränslen samt biobränslen som avfall (Bioenergiportalen, 2009).

Trädbränslen kan indelas i följande undergrupper:

- Avverkningsrester (grot)
- Restprodukter från såg- och massaindustri (bark och spån)
- Returträ (rivningsvirke och pallar)

Grot delas därefter in i grönt- eller brunt sortiment. Med grönt sortiment menas färsk avverkningsrester medan brunt sortiment har lagrats, på hygget eller vid avlägg, vanligen under en barmarkperiod (maj – september) (P. Brekke, pers.komm., 2008). Vid lagringen påverkas bränslets egenskaper p.g.a. kemiska-, fysikaliska- och mikrobiella processer. Processerna påverkar bränslet och för att bestämma sortimentets kvalitet används faktorerna fukthalt, substansförlust, värmevärde, askhalt och fraktionsfördelning (Thörnkvist, 1983). System för uttag av grot kan delas in i tre olika kategorier, efter i vilken form grot lämnar avlägg efter slutavverkning:

1. Flissystem (flisat)
2. Lösgrotssystem (obehandlat)
3. Buntsystem (buntat)

Beroende på om materialet flisas på hygge eller vid avlägg finns två olika upplägg inom kategorin flissystem. Då lös grot tas ut transporteras oförädlad råvara direkt till industri eller terminal, där det sönderdelas. Vid buntning finns ett upplägg för buntning på hygge och ett för buntning vid avlägg.

För buntning av grot på hygge finns två maskintyper *Wood Pac* (Wood Pac AB, Sverige) och *Fiberpac* (Fiberpac AB, Sverige), (Löfgren, 2004). Komprimeringsutrustningen är monterad på en skotare. Då grot buntas vid avlägg finns en lastbilsmonterad utrustning från *Rogbico* (*Rogbico AB, Sverige*). Grotbuntaren finns i två versioner *GTK 4400* (buntlängd 4,4 m) och *GTK 5100* (buntlängd 5,1 m) (Allan Bruks AB, 2008). Hittills är det vanligast att grot buntas på hygge.

Den vanligaste maskinen för hyggebuntning är *John Deere 1490D* (skotarmonterad komprimeringsutrustning). Maskinen producerar grotbuntar som är cirka 3 meter långa och väger cirka 450 kg (rå vikt) och produktionen är kontinuerlig. Totalt har det sålts cirka 70 stycken *John Deere 1490D*. Maskinen finns även som kombimodell och kan då fungera både som grotbuntare och skotare, beroende på typ av uppdrag (E. Östergren, pers.komm., 2008).

Det finns en ny grotbuntare, *Rogbico GTK 5100*, som producerar grotbuntar som är längre (5,1 m) och tyngre (cirka 1000 kg) än buntar från *Woodpac* och *John Deere 1490D*. Produktionen av buntar sker satsvis. *Rogbico GTK 5100* är monterad på ett lastbilschassi och buntar grot vid avlägg. Maskinen inte beroende av trailertransport vid förflyttning mellan olika bestånd men är således inte beståndsgående (Allan Bruks AB, 2008). Producerade buntar transporteras på befintliga grotlastbilar. Vid industri krossas buntarna, och sönderdelat material kan därefter förbrännas i ett värmeverk anpassat för biobränsle. Förutom ökade lastvikter förväntas fördelar finnas vid lastning och lossning samt vid krossning, jämfört mot system med lös grot.

Vid litteraturstudier har det inte framkommit fakta om att det finns någon annan liknande maskin på marknaden idag. Dock finns det en maskin i Schweiz som har en komprimator monterad på ett lastbilschassi (E. Östergren, pers.komm., 2008). Maskinen har komprimeringsutrustning från *John Deere 1490D* monterad, d.v.s. samma utrustning som vanligtvis monteras på skotare. Inga produktivitetsdata har erhållits från maskinen i Schweiz.

Johansson (2007) studerade en *Rogbico GTK 4800* och resultaten visade att grotbuntarens produktivitet var 14-19 buntar per G_0 -tim vilket motsvarade 5,2-8,0 ton TS per G_0 -tim. Buntarnas längd var i medeltal 4,7 meter och dess medeldiameter var 0,8 meter. Den studerade grotbuntaren var en förseriemaskin. Lindroos et al. (200X) beräknade lastutnyttjandet till 67-86 % av maximal lastkapacitet.

Uttag av grot är i dagsläget inte förknippat med några stora ekonomiska vinster. Bakgrunden är bränslets relativt låga värde i förhållande till stora avstånd från skog till industri. Transportavstånden i kombination med att råvaran är skrymmande gör det intressant att komprimera grot till buntar (Pettersson & Nordfjell, 2007). Med bakgrund av detta valde jag att fördjupa mig i ämnet i form av detta examensarbete. Basen i studien är tidsstudier av i systemet ingående delar, samt fukthaltsmätningar av krossad grot. Studien mynnade ut i produktivitetsdata i ton torrsubstans (TS) per timme, maskin och sortiment. Därigenom kunde kostnad per MWh för ingående maskiner och systemet som helhet beräknas.

Målen med studien var att:

1. För grön och brun grot fastställa tidsåtgång och tidfördelning för buntning vid avlägg, samt lastbilstransport och krossning av buntar.
2. Identifiera flaskhalsar i produktionen.
3. Fastställa gröna och bruna grotbuntars torrhalt.
4. Belysa systemets ekonomi.

2 Material och metoder

2.1 Försökslokaler

Studien omfattade lastbilsbuntning av brun och grön grot, samt transport och krossning av buntar. Försökslokalerna var belägna i Västerbottens län. Bestånd 1 (Nordberget) var lokaliserat 44 km sydväst om Lycksele, i anslutning till byn Flakaträsk. Avverkningen av beståndet hade utförts i januari 2008. Bestånd 2 (Ytterfors) låg 30 km sydväst om Lycksele i anslutning till byn Ytterfors. Avverkningen hade genomförts i början på september 2008. Båda bestånden var grandominerade (*Picea abies*), men även tall (*Pinus sylvestris*) och löv (främst björk (*Betula Spp.*)) förekom. Efter avverkning hade grot skotats fram till väg. Där mättes vältornas längd, höjd och bredd (tabell 1).

Tabell 1. Försökslokaler

Table 1. Study sites

Försökslokal <i>Study site</i>	Grottyp <i>Type of logging residue</i>	Trädslagsblandning T G L <i>Tree species mixture</i>	Avverkningsmånad <i>Month of harvesting</i>	Grotvålta <i>Pile of logging residue</i>		
				Längd <i>Length</i> (m)	Höjd <i>Height</i> (m)	Bredd <i>Width</i> (m)
Nordberget 420 m.ö.h	Brun <i>Brown</i>	4, 6, 0	Januari/ <i>January</i>	77	3,5	6,5
Ytterfors 350 m.ö.h	Grön <i>Green</i>	3, 6, 1	September/ <i>September</i>	80	3,0	6,5

En bedömning av vältornas kvalitet med avseende på hur väl vältan var upplagd, samt bedömd trädslagsblandning och andel stamved, genomfördes av förarna gemensamt, före och efter buntning. Förare 1 var den person som körde buntaren under studien och förare 2 assisterade författaren med mättningsarbetet av producerade buntar. Efter bedömningen enades de om ett betyg per kolumn. Betyget 1 betyder låg kvalitet och betyget 5 betyder att vältan var av hög kvalitet. Betygssystemet var ett klassificeringssystem som utarbetades av författaren i samband med studien. Klassificeringsarbetet ingick inte som en standardrutin i förarnas dagliga arbete vid buntproduktion.

Vältan vid försökslokal Nordberget var placerad nära en skogskant i ett relativt djupt dike (figur 1). Vältan var täckt med täckpapp. Uppläggningsen av materialet fick betyget 3 av förarna. Detta då delar av materialet var orienterat i en inte önskvärd riktning. Andelen björk var hög och det ansågs vara mindre bra då björken innehöll stor andel torrkvist som spretade åt olika håll, betyget blev en 2: a. Andelen stamved var hög och därför fick kategorin högsta betyg. Med medelvärdet 3,3 så enades förarna om att vältan representerade en relativt vanlig vålta.



Figur 1. Vålta med brun grot (Nordberget).

Figure 1. A windrow of brown LR (Nordberget).

Foto/Photo: Torbjörn Edman

Våltan vid försökslokal Ytterfors var helt färsk. Grotskotning hade utförts dagen innan tidsstudier skulle genomföras. Våltans uppläggning var väl utförd och fick betyget 5. Andelen björk var lägre än tidigare försökslokal, och andelen gran högre (figur 2). Betyget blev en 4: a. Andelen stamved var hög och betyget 4 delades ut. Medelbetyget blev 4,3 och våltan ansågs vara något bättre än genomsnittet.



Figur 2. Vålta med grön grot (Ytterfors).

Figure 2. A windrow of green LR (Ytterfors).

Foto/Photo: Torbjörn Edman

Lastbilsbuntaren videofilmades under produktion. Arbetsdagen delades in i perioder. Varje period representerade cirka en timmes effektiv filmning p.g.a. videokamerautrustningens praktiska begränsningar. Batteri- och bandbyten utfördes vid byte till ny period.

Totalt genomfördes 12 perioder. I period 1-6 studerades produktion av bruna grotbuntar och i period 7-12 gröna grotbuntar.

Buntarnas massa fastställdes via grotbuntarens kranvåg. Kranvågen kontrollmättes i intervallet 200 till 1150 kg mot en krönt upphängningsvåg. Kranvågen visade 3,6 % högre massa (medelvärde) än upphängningsvågen. Standardavvikelsen var 2,9 kg. I samtliga beräkningar användes de uppgifter som kranvågen visade då dessa ansågs tillförlitliga.

Längd- och diamettermätning utfördes kontinuerligt efter varje buntningscykel. Buntens längd mättes med måttband, och diamettermått erhöles via klavning. I samband med mätarbetet bistod förare nr två som assistent. Samtliga 120 producerade buntar mättes och vägdes. Insamlingsarbetet av data gällande buntarnas dimensioner påverkade inte förarens produktion då mätningarna utfördes samtidigt som en ny bunt var under produktion. Viktuppgifter från kranvågen lämnades via kommunikationsradio från föraren.

Varje bunt hölls ihop med tre stycken symetriskt placerade buntband. Totalt mättes tre diametrar per bunt. Diamettermätning nr 1 utfördes mellan ytterkant och buntband 1. Mätning nr 2 utfördes mellan band 1 och 2 och mätning 3 utfördes mellan band 3 och den andra ytterkanten.

Filmerna spelades upp i kontorsmiljö på en TV och tidsstudier genomfördes i efterhand. Tid mättes med kronograf. Insamlade data fördes kontinuerligt in i programvaran Microsoft Excel.

Varje hel bunningscykel studerades först med avseende på total tid, antal gånger sågen användes, samt antal gripars med grot som behövdes för att fylla komprimatorn. Därefter spelades filmerna upp en gång till där momentindelingen studerades separat.

Lastning och lossning av buntar på lastbil filmades och tidsstudier genomfördes i efterhand på ovanstående vis. Lasten transporterades med grotbil med släp till Skellefteå Kraft AB: s bioenergikombinat på Hedensbyn i Skellefteå,. Invägning av hela ekipaget med last utfördes med biokombinatets stationära fordonsvåg vid deras mätstation. Efter lossning vägdes ekipaget igen och lastens massa erhöles. Den efterföljande krossningen filmades och tidsstudier genomfördes även här i efterhand. I anslutning till krossningen togs 20 stycken fukthaltsprover per sortiment ur fallande flöde. Fukthaltsanalyser genomfördes i Skellefteå Kraft AB: s egna laboratorium. En askhalts- samt värmevärdesanalys per sortiment genomfördes därefter av Bränslelaboratoriet Umeå AB.

2.2 Maskiner

Den studerade grotbuntaren var en *Rogbico GTK 5100* (Rogbico AB, Sverige) (figur 3).



Figur 3. Grotbuntare *Rogbico GTK 5100*.

Figure 3. Bundler *Rogbico GTK 5100*.

Foto/Photo: Torbjörn Edman

Grotbuntarens komprimator formade cylindriska buntar av grot med en längd av cirka 5,1 meter och en diameter av cirka 0,8 meter (bilaga 1). Maskinen band samman buntarna med tre polyesterband (16 mm breda och 0,8 mm tjocka). Buntaren var monterad på ett lastbilschassi, *Mercedes-Benz Actros 2548* (Daimler AG, Tyskland), årsmodell 2006, och drevs av lastbilens hydraulik. Kranen var utrustad med en ackumulerande våg, samt risgrip med såg. Grotbuntaren ägdes av BBX Entreprenad AB i Umeå och var nyinköpt under våren 2008.

Priset på en Rogbico GTK 5100 var 2,95 milj. kr exkl. kran/hytt och lastbil. Komplet kostade ekipaget cirka 4,6 milj. kr (A. Bruks, pers.komm., 2008).

Den studerade lastbilen för bunttransport var en *Scania R500* (Scania AB, Sverige) årsmodell 2007 (figur 4). Lastutrymmet var 6,2 m långt, 2,33 m brett och 3,0 m högt. De avtagbara täcksidorna och golvet var av plåt. Släpet från *Lefab* (Lefab AB, Sverige) hade en påbyggnad från Lefab med täckta sidoplåtar samt trägolv avsett för grottransport. Lastutrymmet var 11,5 m långt, 2,37 m brett och 2,95 m högt. Kranen, *Jonsered 1080* (Loglift Jonsered AB, Sverige) årsmodell 2007, var fast monterad och utrustad med kranhytt. Max lyftkapacitet var cirka 1500 kg.

Taravikt för lastbil med släp (inklusive kran och grip) var 28,8 ton (L. Johansson, pers.komm., 2008).



Figur 4. Lastbil (*Scania R500*) med släp, anpassad för grottransport.

Figure 4. Truck (*Scania R500*) with a trailer, customized for LR transport.

Foto/Photo: Torbjörn Edman

Den studerade krossen var en CBI Magnum Force 8400 (Continental Biomass Industries, Inc., USA) (figur 5).



Figur 5. Kross, CBI Magnum Force 8400, i produktion.

Figure 5. Grindler, CBI Magnum Force 8400, in production.

Foto/Photo: Torbjörn Edman

CBI 8400 var portabel och drevs av en dieselmotor på 773 kW (CBI, 2008). Det var den näst största industriella krossen på marknaden (bilaga 2). Maxkapaciteten vid krossning av skogsbränsle uppgavs till cirka 200 ton per timme. Krossen kunde anpassas beroende på vilken råvarutyp som skulle krossas eller malas. Den maskin som ingick i studien var utrustad med en rotor anpassad för krossning av träddeklar, och tjänstgjorde vid flera av Skellefteå Krafts värmeverk i regionen (J. Jonsson, pers.komm., 2008).

Krossen lastades med en hjulgrävmaskin CAT M322C MH (Caterpillar Inc., USA) (figur 6). Materialhanteraren/hjulgrävmaskinen hade teleskophytt och en stor standardgrip, HSP Gripen 100 (Hassela Skogsprodukter AB, Sverige). Krossen kunde fjärrstyras från hjulgrävmaskinen.



Figur 6. Materialhanterare/hjulgrävmaskin CAT M322C i produktion.

Figure 6. Material handler/wheel excavator CAT M322C in production.

Foto/Photo: Torbjörn Edman

2.3 Tidsstudier

Fältstudierna genomfördes i september 2008. Med hänsyn till studiens krav på konstanthållning studerades samma förare vid varje delstudie (Bergstrand, 1987). Totalt studerades grotbuntaren under två dagar. Tidsåtgången för att lasta och lossa grotbuntar, samt transportera dem till mottagande industri, tog fyra dagar i anspråk. Krossningen studerades under en halv dag.

Systemanalysen baseras på totalt 13,76 timmar av tidsstudier. I presenterande produktivitetsdata baseras produktionen på G_0 -tid i centiminuter (c-min). Tid för arbetsmomentet avbrott, som normalt inte har med produktionen att göra, har då exkluderats.

Data från tidsstudierna sammanställdes och beräknades i *Microsoft Excel*. Statistiska analyser genomfördes i *Minitab 15* (2-sample T-test). Som gräns vid signifikanta skillnader användes 5 procent.

Föraren av grotbuntaren var 30 år och hade kört grotbuntare tre månader vid studietillfället. Föraren var motiverad och löste snabbt och vant problem som uppstod. Han hade drygt ett års tidigare erfarenhet av krankörning då han tidigare hade arbetat som skotarförare. Generellt hade han stor erfarenhet av maskinkörning då han yrkesmässigt även kört lastbil, hjullastare och grävare under en period av nästan tio år.

Föraren av lastbilsekipaget var 38 år och hade kört timmerbil i 17 år. Under de senaste tre åren hade han även kört en hel del lös grot. Transport av grotbuntar var relativt nytt för honom men hans gedigna erfarenhet av skogstransporter och krankörning gjorde att arbetet genomfördes mycket smidigt och vant. Föraren var motiverad och intresserad av sitt arbete.

Föraren av krossen var 33 år och hade cirka ett års erfarenhet av krossen samt hjulgrävmaskinen. Viss vana av grävmaskinskörning fanns sedan tidigare. Föraren var motiverad och arbetet genomfördes vant och systematiskt.

Varje producerad bunt representerade en arbetscykel. Arbetsmomentens indelning, beskrivning och prioritet presenteras i tabell 2. I de fall där indelade arbetsmoment överlappade varandra registrerades det moment som hade högst prioritet, dvs. lägst värde. Total studerades produktionen av 120 stycken grotbuntar, vilket tog 10,82 tim, varav brunt materiel 5,58 tim och grönt material 5,24 tim.

Tabell 2. Arbetsmomentens indelning och prioritet vid grotbuntning

Table 2. Work elements and priority for the bundler

Arbetsmoment <i>Work element</i>	Definition <i>Definition</i>	Prioritet <i>Priority</i>
Komprimering <i>Compressing</i>	Då grot komprimeras till en bunt. Startar när luckan börjar röra sig neråt och slutar när komprimeringsskoporna är i returnerat läge.	1
Lastning <i>Loading</i>	Då grot lastas i komprimatorn. Startar då tom grip greppar grot och slutar då komprimatorns lucka börjar röra sig neråt. Momentet inkluderar även beredning av material.	2
Lossning <i>Unloading</i>	Då färdig grotbunt lossas från grotbuntaren. Startar då grip greppar bunt och slutar då grip släpper bunt på avlägg.	2
Förflyttning <i>Moving</i>	Ompositionering av lastbilsekipage. Startar när stödbenen lämnar marken och slutar vid ny markkontakt.	3
Avbrott <i>Interruption</i>	Oplanerat driftsstopp som normalt ej hör till produktionen. T.ex. problem med bandmaskiner. Räknades ej in i verktiden.	3
Väntan <i>Delay</i>	Produktivt arbete då operatören väntar på komprimeringsutrustningen. Börjar då kranen är stilla i position ovanför komprimeringslåda och slutar då kranen startar sin rörelse mot producerad bunt.	3
Övrigt arbete <i>Miscellaneous work</i>	Arbete som ej hör till något av ovanstående moment. T.ex. påfyllning av buntband, rensning av grot på maskinen.	3

Lastning respektive lossning, av ett fullt lass (bil och släp), representerade en arbetscykel. Arbetsmomentens indelning, beskrivning och prioritet presenteras i tabell 3. Två fulla lass kördes in med respektive sortiment. Totalt utfördes fyra stycken arbetscykler, vilket tog 2,26 tim, varav brunt material 1,19 tim och grönt material 1,07 tim.

Tabell 3. Arbetsmomentens indelning prioritet för lastning och lossning av grotbuntar
Table 3. Work elements and priority for loading and unloading of LR bundles

Arbetsmoment <i>Work element</i>	Beskrivning <i>Definition</i>	Prioritet <i>Priority</i>
Kranarbete <i>Crane work</i>	Inkluderar allt kranarbete direkt kopplat till buntproduktion. T.ex. lastning, lossning samt beredning av material.	1
Iordningställande av ekipage <i>Preparation of the equipage</i>	Börjar med att ekipage står still och inkluderar moment med stödben ut/in. Slutar med förflyttning av fordon eller att kranarbete påbörjas.	2
Förflyttning av ekipage <i>Moving of the equipage</i>	Börjar med att lastbilens hjul rullar och slutar då de står stilla	3

Krossning av 60 stycken buntar per sortiment (bruna respektive gröna buntar) representerade en arbetscykel. Totalt studerades två arbetscykler vilket tog 0,68 tim, varav brunt material 0,36 tim och grönt material 0,32 tim. Arbetsmomentens indelning, beskrivning och prioritet presenteras i tabell 4.

Tabell 4. Arbetsmomentens indelning och prioritet vid krossning
Table 4. Work elements and priority for grinding

Arbetsmoment <i>Work element</i>	Beskrivning <i>Definition</i>	Prioritet <i>Priority</i>
Krossning <i>Crushing</i>	Då grotbuntar krossas och flis produceras.	1
Avbrott <i>Interruption</i>	Ej något av ovanstående	2

2.4 Torrhaltsanalys

För att bestämma torrhalten hos de två sortimenten togs 20 stycken prover per sortiment. Definition av torrhalt är kvoten av torrsubstansens massa och det fuktiga materialets totala massa. Proverna togs ur fallande flöde från krossens utflöde. Totalt togs 40 prover. Krossad grot placerades i plasthinkar, som förslöts med lock. Hinkarna märktes upp för att särskilja sortimenten. Bestämning av provernas torrhalt skedde enligt direktmetoden SS 18 71 70. Inom en timme efter att proverna var tagna påbörjades arbetet med att fastställa respektive provs torrhalt. I laboratoriemiljö hos Skellefteåkraft AB, Hedensbyn, placerades respektive prov i en papperspåse som tillslöts med häftklammer. Påse med innehåll vägdes på digital våg och dess massa samt sortiment, noterades på påsens ytersida. Proverna placerades på plåtar i en torkugn (figur 7) och utsattes för en temperatur av 105 grader Celsius i 48 timmar (Virkesmättningsrådet, 2008). Därefter togs proverna ut och vägdes på samma digitala våg. Den nya massan noterades och proverna märktes upp individuellt.



Figur 7. Torkugn med uppmärkta prover.

Figure 7. Oven with attention samples.

Foto/Photo: Torbjörn Edman

Fukthalterna bestämdes genom att dividera den torra påsen med innehåll med den ursprungliga massan, av påse med innehåll. Avdrag gjordes för tom påse och klammer med 14 g per prov. Torrhalt, dvs. andelen torrsubstans, erhöles som 100 % minus fukthalten i procent. Beräkningar av fukthalt och torrsubstans (medelvärde och standardavvikelse) utfördes i *Microsoft Excel*.

2.5 Värmevärdesanalys

Neddelning, av tidigare analyserade fukthaltsprover, genomfördes av Bränslelaboratoriet i Umeå AB. Ur neddelat material gjordes en askhalts- samt värmevärdesanalys per sortiment (tabell 5). Askhalten bestämdes vid 550 grader Celsius via metod SS 18 71 71:1.

Vid analys av värmevärdet (kalorimetriskt och effektivt) för absolut torr ved användes metod SS-ISO 1928:1.

Vid beräkningarna av det effektiva värmevärdet för fuktig ved användes följande formel för att beskriva det värden som låg till grund för beräkningar av produktiviteten (Ringman, 1996):

$$W_{\text{eff}} = W_a - 2,44 \times (fh / (100 - fh))$$

W_{eff} = effektivt värmevärde per kg fuktigt bränsle (MJ/kg TS)

W_a = effektivt värmevärde för absolut torr ved (MJ/kg TS)

2,44 = den energi som åtgick för att förångas vatten vid 20 grader C (MJ/kg TS) enligt uppgifter från Bränslelaboratoriet.

fh = fukthalt (%)

Som omvandlingsformel mellan enheterna MJ/kg till MWh/ton användes formeln:
 $(\text{MJ/kg}) / 3600 = \text{MWh/ton}$

2.6 Ekonomi

Som indata till ekonomiska beräkningar användes rimliga timkostnader (kr/ G_0 -tim). Rimligheten fastställdes genom att intervjua ett antal personer som var väl förtrogna med branschen. För buntmaskinen användes en timkostnad på 1000 kr vid produktion och 750 kr vid förflyttning mellan olika objekt.

Kostnaden för grotbil med släp sattes till 750 kr per timme. Transporthastigheten (medel) som användes i beräkningarna var 55 km/h. Hastighetsuppgifterna erhöles från lastbilens färdator och dessa baserades på ett stort antal historiska transportarbeten. I beräknade transportkostnader som funktion av transportavstånd var returkörning utan last inkluderad. I de beräkningar som utfördes då transportkostnaderna jämfördes mellan sortimenten bunt och lös grot användes samma timkostnad som ovan för båda sortimenten.

Produktivitetsdata för transport av lös grot baserades på en skattning som utfördes av föraren av ekipaget. Skattningen baserades på drygt tre års erfarenhet av transport av lös grot med aktuellt ekipage eller motsvarande.

Då grotbuntar sönderdelades till krossat material användes kostnaden 4000 kr per tim. I timkostnaden ingick kostnad för materialhanterare samt kross.

För att göra systemet jämförbart med andra system för uttag av skogsbränsle adderades momentet grotskotning. Produktivitetsdata baserades på driftsuppföljning från två grotskotare som under två års tid tillsammans skotat 96 objekt (Pettersson, 2006). I Petterssons studie var produktiviteten i medeltal 7,6 råton/ G_0 timme. Vid fastställandet av andelen TS användes samma värde för torrhalt som erhållna resultat för grön grot i denna studie (tabell 13).

3 Resultat

3.1 Grotbuntning

Medeldiametern för bruna grotbuntar var 0,88 m, längden var 5,04 m och bulkvolymen $3,10 \text{ m}^3$. Gröna grotbuntar hade en diameter på 0,87 m, en längd av 5,08 m och en bulkvolym på $3,03 \text{ m}^3$ (tabell 5). Diameter, längd och volym skiljde sig inte signifikant åt mellan bruna och gröna grotbuntar.

Bruna buntars råa massa var 712,9 kg medan gröna buntars råa massa var 717,8 kg. Ingen signifikant skillnad uppmättes. Bruna buntar innehöll 444,9 kg TS, och gröna innehöll 394,0 kg TS, vilket var en signifikant skillnad ($p=0,000$) (tabell 5).

Bruna buntars råa skrymdensitet var $231,3 \text{ kg/m}^3$ medan gröna buntars råa skrymdensitet var $238,3 \text{ kg/m}^3$. Skillnaden var inte signifikant. Bruna buntars torra skrymdensitet var $144,3 \text{ kg/m}^3$ medan motsvarande värde för gröna buntar var $130,8 \text{ kg/m}^3$. Skillnaden var signifikant ($p=0,003$) (tabell 5).

Bruna grotbuntar innehöll signifikant ($p=0,000$) högre energimängd än gröna buntar. Brun bunt innehöll 2,26 MWh och grön bunt 1,91 MWh i medeltal (tabell 5).

Diameter 2 (mellan buntband ett och två dvs. relativt nära buntarnas halva längd), var signifikant ($p=0,019$) olika mellan de två typerna av grotbuntar. För bruna buntar var diameter 2 89,0 cm och standardavvikelse 5,4 cm. För gröna buntarna var motsvarande värde 86,5 cm och standardavvikelse 6,0 cm (tabell 5).

Tabell 5. Buntegenskaper (medelvärde och standardavvikelse) per bunt**Table 5.** Bundle characteristics (mean value and SD) per bundle

Buntegenskaper <i>Bundle characteristics</i>	Grottyp <i>Type of LR</i>	
	Brun (Brown)	Grön (Green)
Diameter/Diameter (m)	0,88 ^{a)} (0,039)	0,87 ^{a)} (0,039)
Längd/Length (m)	5,04 ^{a)} (0,11)	5,08 ^{a)} (0,17)
Volym/Volume (m³)	3,10 ^{a)} (0,30)	3,03 ^{a)} (0,29)
Massa rå/Mass raw (kg)	712,9 ^{a)} (131,8)	717,8 ^{a)} (107,5)
Massa torr/Mass dry (kg)	444,9 ^{a)} (82,2)	394,0 ^{b)} (59,0)
Densitet rå (kg/m³) <i>Raw bulk density (kg/ m³)</i>	231,3 ^{a)} (43,8)	238,3 ^{a)} (37,8)
Densitet torr (kg/m³) <i>Dry bulk density (kg/m³)</i>	144,4 ^{a)} (27,3)	130,8 ^{b)} (20,8)
Energimängd W_{eff} (MWh) <i>Calorific content</i> <i>q_{net p.m} (MWh)</i>	2,26 ^{a)} (0,42)	1,91 ^{b)} (0,29)

^{a)} Inom rader indikerar olika upphöjd bokstav signifikanta skillnader (p<0,05).
(2 sample T-test)

Tidsåtgången vid komprimering av brun grot till en bunt var 1,09 c-min och tidsåtgången var 1,11 c-min för att komprimera grön grot. Skillnaden var signifikant (p=0,003) (tabell 6).

Tidsåtgången vid lastning av brun grot i komprimatorn var 3,16 c-min och 2,87 c-min för grönt material per bunt. Skillnaden var inte signifikant. Inga skillnader uppmättes vid lossning av färdiga grotbuntar. Lossningen tog 0,34 c-min per bunt (tabell 6).

Avbrottstiden var 0,30 c-min för brun bunt och 0,36 c-min för grön. Väntan vid buntproduktion var 0,06 c-min för brun bunt och 0,04 för grön bunt. Ingen av dessa skillnader var signifikanta (tabell 6).

Förflyttning utmed vältan för omgruppering av maskinen uppvisade ingen signifikant skillnad mellan sortimenten. Vid brun vältan tog förflyttning 0,21 c-min per bunt medan det tog 0,17 c-min per bunt att förflytta sig utmed den gröna vältan.

I kategorin övrigt uppmättes ingen signifikant skillnad mellan grottyperna. I medel gick det åt 0,43 c-min vid produktion av en brun bunt. Då en grön bunt producerades togs 0,35 c-min i anspråk.

Det var ingen signifikant skillnad i total tid vid produktion av grotbunt från respektive typ av grot. Det tog 5,58 c-min då en brun grotbunt producerades. En grön grotbunt producerades på 5,24 c-min (tabell 6).

Tabell 6. Tidsåtgång (c-min) för produktion av en bunt (medelvärde, standardavvikelse och procentuell fördelning) per arbetsmoment
Table 6. Time (c-min) required for production of a bundle (mean value, SD and the percentage allocation) per work element

Grot- typ <i>Type of LR</i>	Arbetsmoment <i>Work element</i>							
	Kompri- mering	Lastning	Lossning	Avbrott	Väntan	För- flyttning	Övrigt	Total- tid
	<i>Com- pressing</i>	<i>Loading</i>	<i>Unloading</i>	<i>Inter- ruption</i>	<i>Delay</i>	<i>Moving</i>	<i>Mis- cellaneuos</i>	<i>Total time</i>
Brun	1,09 ^{a)}	3,16 ^{a)}	0,34 ^{a)}	0,30 ^{a)}	0,06 ^{a)}	0,21 ^{a)}	0,43 ^{a)}	5,58 ^{a)}
<i>Brown</i>	(0,02)	(0,89)	(0,08)	(2,37)	(0,05)	(0,73)	(1,89)	(2,22)
	19,5 %	56,6 %	6,0 %	5,4 %	1,0 %	3,7 %	7,7 %	100 %
Grön	1,11 ^{b)}	2,87 ^{a)}	0,34 ^{a)}	0,36 ^{a)}	0,04 ^{a)}	0,17 ^{a)}	0,35 ^{a)}	5,24 ^{a)}
<i>Green</i>	(0,02)	(0,77)	(0,09)	(1,45)	(0,04)	(0,54)	(0,73)	(1,78)
	21,2 %	54,9 %	6,5 %	6,9 %	0,8 %	3,2 %	6,7 %	100 %

^{a)} Inom en kolumn indikerar olika upphöjd bokstav signifikanta skillnader ($p < 0,05$).
(2 sample T-test)

En brun bunt ombandades 0,17 gånger per bunt. En grön ombandades 0,15 gånger. Skillnaden var inte signifikant (tabell 7). För att fylla komprimatorn med brun grot behövdes det 5,10 gripar med råmaterial medan det åtgick 4,90 gripar av grön grot. Skillnaden var inte signifikant.

Antalet gånger då föraren använde gripsågen, vid lastning och beredning av material, för att fylla komprimatorn skiljde sig signifikant ($p = 0,017$) åt mellan de båda grottyperna. Vid produktion av brun bunt användes sågen 1,60 gånger per bunt. Då grön bunt produceras behövdes sågen bara 1,31 gånger per bunt (tabell 7).

Tabell 7. Antal ombandningar, antal gripar för att fylla komprimatorn samt antal gånger kransågen användes per bunt och sortiment (medelvärde och standardavvikelse)

Table 7. Number of restrapping, number of grab to fill the compressing chamber and number of times crane saw used, per bundle and type of LR (mean and SD)

Grottyp	Ombandning (antal)	Griptag (antal)	Sågning (antal)
<i>Type of LR</i>	<i>Restrapping (n)</i>	<i>Grips (n)</i>	<i>Sawing (n)</i>
Brun <i>Brown</i>	0,17 ^{a)} (0,38)	5,10 ^{a)} (1,10)	1,60 ^{a)} (0,69)
Grön <i>Green</i>	0,15 ^{a)} (0,40)	4,90 ^{a)} (1,05)	1,31 ^{b)} (0,62)

^{a)} Inom en kolumn indikerar olika upphöjd bokstav signifikanta skillnader ($p < 0,05$).
(2 sample T-test)

Vid buntning av bruna buntar var produktiviteten 10,8 buntar per tim. Då avdrag gjorts för arbetsmomentet avbrott var produktiviteten 11,4 buntar per G_0 -tim. Grotbuntaren producerade 8,1 ton bruna buntar per tim och dessa innehöll 5,1 ton TS. Den energimängd som producerades per G_0 -tim var 25,7 MWh (W_{eff}) (tabell 8).

Då grönt material buntades var produktiviteten 11,5 buntar per tim. Då G_0 -tim studerades var produktiviteten 12,3 buntar per tim. Grotbuntaren producerade 8,8 ton gröna buntar per G_0 -tim. Detta material innehöll 4,8 ton TS och en energimängd av 23,5 MWh (W_{eff}) (tabell 8).

Tabell 8. Produktivitet vid buntning

Table 8. Productivity at bundling

Grottyp	Buntar (antal/tim)	Buntar (antal/G_0-tim)	Massa (rå) (ton/G_0-tim)	Massa (TS) (ton/G_0-tim)	W_{eff} (MWh/G_0-tim)
<i>Type of LR</i>	<i>Bundles (n/hour)</i>	<i>Bundles (n/E_0-hour)</i>	<i>Mass (raw) (tonnes/E_0-hour)</i>	<i>Mass (DM) (tonnes/E_0-hour)</i>	<i>$q_{\text{net p.m}}$ (MWh/E_0-hour)</i>
Brun <i>Brown</i>	10,8	11,4	8,1	5,1	25,7
Grön <i>Green</i>	11,5	12,3	8,8	4,8	23,5

3.2 Transport

Vid transport av bruna grotbuntar lastades i medeltal 29,5 buntar på grotbil med släp och vid transport av gröna buntar blev resultatet 30,5 buntar (tabell 9). Då bruna buntar transporterades lastades 9 buntar på lastbilen och 20,5 på släpet. Fördelningen vid transport av gröna buntar blev 9,5 på lastbilen och 21,0 på släpet (tabell 9). Vid transport av bruna grotbuntar utnyttjades 68,9 % av lastbilsekipagets maximala lastkapacitet i massa (tabell 9). Motsvarande värde för gröna grotbuntar var 73,9 % (tabell 9).

Tabell 9. Lastkapacitet för bruna och gröna buntlass
Table 9. Load capacity for brown and green LR-loads

Kapacitet <i>Capacity</i>	Grottyp <i>Type of LR</i>	
	Brun (<i>Brown</i>)	Grön (<i>Green</i>)
Antal buntar på lastbil <i>Number of bundles on a truck</i>	9,0	9,5
Antal buntar på släp <i>Number of bundles on a trailer</i>	20,5	21,0
Antal buntar på ekipage <i>Number of bundles on a equipage</i>	29,5	30,5
Total last (råton) <i>Total load (raw tonnes)</i>	21,50	21,57
Lastutnyttjande (% av max tillåten massa, 31,2 ton) <i>Load use (% of max legal pay-load, 31,2 tonnes)</i>	68,9	73,9
Total last (ton TS) <i>Total load (tonnes DM)</i>	13,1	12,0

Lastning av bruna grotbuntar på grotbil med släp tog 23,0 c-min per lass (tabell 10). Vid lossning var tidsåtgången 12,8 c-min (tabell 10). Motsvarande värden för gröna buntar var 18,38 c-min respektive 13,7 c-min (tabell 10).

Störst skillnader i procentuell tidfördelning mellan olika moment fanns i momentet förflyttning. Då bruna buntar av grot lossades åtgick 3,2 % av den totala verktiden till detta moment. Motsvarande värde för gröna buntar var 11 %. En trolig förklaring till detta var att gröna lass innehöll flera buntar och därigenom blev behovet av förflyttning större. Detta då den del av lastplatsen som var inom kranens räckvidd blev fullbelagd.

Tabell 10. Tidsåtgång (c-min) för lastning respektive lossning av ett lass (lastbil + släp) (medelvärde, standardavvikelse och procentuell fördelning) per arbetsmoment
Table 10. Time (c-min) required for loading and unloading of a load (truck + trailer) (mean, SD and the percentage allocation) per work element

Grottyp Type of LR	Arbetsmoment Work element	Tidsåtgång (c-min, std. avv., %) Time consumption (c-min, SD, %)			Summa tidsåtgång (c-min, std. avv., %) Sum time consumption (c-min, SD, %)
		Kranarbete Crane work	Iordning- ställande Preparation	Förflyttning Move	
Brun Brown	Lastning Loading	17,10	3,80	2,12	23,0
		(0,071)	(0,16)	(0,19)	(0,424)
		74,3 %	16,5 %	9,2 %	100 %
	Lossning Unloading	10,16	2,23	0,41	12,79
		(0,059)	(0,082)	(0,58)	(0,72)
		79,4 %	17,4 %	3,2 %	100 %
Grön Green	Lastning Loading	13,81	3,30	1,27	18,38
		(0,20)	(2,03)	(0,071)	(2,30)
		75,1 %	18,0 %	6,9 %	100
	Lossning Unloading	10,06	2,11	1,51	13,68
		(0,27)	(0,012)	(0,20)	(0,48)
		73,6 %	15,4 %	11,0 %	100 %

Produktiviteten vid lastning av bruna buntar var 34,2 ton TS/G₀-tim och för gröna buntar 39,5 ton TS/G₀-tim (tabell 11). Skillnaden var inte signifikant (p=0,297). Vid lossning var produktiviteten för bruna buntar 61,6 ton TS/G₀-tim och för gröna buntar 52,8 ton TS/G₀-tim. Skillnaden var inte signifikant (p=0,158).

Tabell 11. Produktivitet (medelvärde och standardavvikelse) vid lastning respektive lossning av grotbuntar

Table 11. Productivity (mean and SD) for loading and unloading of LR bundles

Grottyp Type of LR	Arbetsmoment Work element	Produktivitet (ton TS/G ₀ -tim)	Produktivitet (MWh/G ₀ -tim)
		Productivity (tonnes DM/E ₀ -hour)	Productivity (tonnes DM/E ₀ -hour)
Brun Brown	Lastning Loading	34,2 (0,4)	173,6 (2,0)
	Lossning Unloading	61,6 (0,6)	312,5 (3,2)
Grön Green	Lastning Loading	39,5 (3,7)	191,0 (18,0)
	Lossning Unloading	52,8 (3,1)	255,4 (14,9)

3.3 Krossning

Krossproduktiviteten var så gott som lika för brun och grön grot mätt som ton TS/tim (tabell 12). Då bruna buntar krossades var produktiviteten 165 stycken per G_0 -tim eller $571 \text{ m}^3/\text{s}/G_0\text{-tim}$ (stjälpt mått). Motsvarande värde för gröna buntar var 189 stycken eller $511 \text{ m}^3/\text{s}/G_0\text{-tim}$ (tabell 12). Vid krossningen användes all tid till krossningsarbete och inga avbrott noterades.

Tabell 12. Produktivitet vid krossning av buntar

Table 12. Productivity in the grinding of bundles

Grottyp	Bunt (antal/ G_0 - tim)	Volym ($\text{m}^3/\text{s}/ G_0$ - tim)	Massa (rå) (ton/ G_0 -tim)	Massa (TS) (ton TS/ G_0 - tim)	Energi (MWh/ G_0 - tim)
Type of LR	Bundles (n/ E_0 -hour)	Volume ($\text{m}^3/\text{s}/E_0$ - hour)	Mass (raw) (tonnes/ E_0 - hour)	Mass (DM) (tonnes/ E_0 - hour)	Energy (MWh/ E_0 - hour)
Brun Brown	165	571	118	73	372
Grön Green	189	511	135	74	359

3.4 Torrhalt

Torrhalten för bruna buntar var 62,4 % och standardavvikelse 3,64. Motsvarande värde för gröna buntar var 54,9 % och standardavvikelse 3,50. Skillnaden var signifikant ($p=0,000$).

3.5 Värmevärde

Resultat från värmevärdesanalysen visade att såväl det kalorimetriska som det effektiva värmevärdet, för absolut torrt material, var högre för brun grot jämfört mot grön grot (tabell 13). Askhalten för brun grot var 1,2 % och motsvarande värde för grön grot var 2,8 %.

Det effektiva värmevärdet (W_{eff}) för bruna grotbuntar (37,6 % fukthalt) var 18,27 MJ/kg. För gröna buntar (45,1 % fukthalt) var det effektiva värmevärdet (W_{eff}) 17,42 MJ/kg.

Tabell 13. Buntegenskaper (medelvärde)**Table 13.** Bundle characteristics (mean value)

Grottyp <i>Type of LR</i>	Värmevärde (MJ/kg TS absolut torr ved) <i>Calorific value</i> <i>(MJ/kg DM absolutely dry wood)</i>		Fukthalt <i>Moisture content</i> (%)	Effektivt värmevärde (MJ/kg fuktig ved) <i>Net calorific value (MJ / kg moist wood)</i>	Askhalt (% av TS) <i>Ash content</i> (% of DM)
	Kalori-metriskt <i>Calorimetric</i>	Effektivt <i>Effective</i>			
Brun <i>Brown</i>	21,04	19,74	36,6	18,27	1,2
Grön <i>Green</i>	20,73	19,43	45,1	17,42	2,8

3.6 Ekonomi

I studien producerades 5,1 ton TS bruna buntar och 4,8 ton TS gröna buntar per G₀-tim. Kostnaden för buntning var 196 respektive 208 kr/ton TS för bruna och gröna buntar. Vid omräkning till kostnad per effektiv värmevärdeenhet var kostnaden 38,9 kr/MWh för bruna buntar och 42,6 kr/MWh för gröna. Kostnad för flytt tillkom och var jämförbar med flyttkostnaden för en vanlig lastbil.

Transporten av grotbuntar delades upp i en fast del och en rörlig del. De aktiviteter som ingick i den fasta delen var lastning och lossning. Den rörliga delen benämndes förflyttning och i aktiviteten inkluderades även returkörning utan last.

Kostnaden för lastning av bruna buntar var 21,9 kr/ton TS och för gröna buntar 19,1 kr/ton TS (tabell 14). Motsvarande värden omräknat till kronor per MWh var 4,3 respektive 4,0.

Kostnaden för lossning av bruna buntar var 12,2 kr/ton TS och för gröna buntar 14,2 kr/ton TS. Motsvarande värden omräknat till kronor per MWh var 2,4 respektive 2,9 (tabell 14).

Då kostnaderna för lastning och lossning summerades blev resultatet 34,1 kr/ton TS för bruna buntar respektive 33,3 kr/ton TS för gröna buntar (tabell 14). Motsvarande kostnader i kronor per MWh var 6,7 respektive 6,9 (tabell 14).

Tabell 14. Kostnad (kr/ton TS och kr/MWh) för lastning och lossning på lastbil**Table 14.** Cost (SEK/ton TS and SEK/MWh) of loading and unloading on truck

Aktivitet <i>Activity</i>	Sortiment <i>Assortment</i>			
	Bruna buntar <i>Brown bundles</i>		Gröna buntar <i>Green bundles</i>	
	kr/ton TS	kr/MWh	kr/ton TS	kr/MWh
	<i>SEK/tonnes DM</i>	<i>SEK/MWh</i>	<i>SEK/tonnes DM</i>	<i>SEK/MWh</i>
Lastning <i>Loading</i>	21,9	4,3	19,1	4,0
Lossning <i>Unloading</i>	12,2	2,4	14,2	2,9
Summa <i>Sum</i>	34,1	6,7	33,3	6,9

Kostnaden för att förflytta ett lass buntar på lastbilsekipaget från avlägg till mottagande industri (rörlig kostnad) var linjärt beroende av transportavståndet däremellan (figur 8-9). Kostnaden för att transportera ett lass med bruna buntar 150 km var 61 kr/MWh och 70 kr/MWh för ett lass med gröna buntar (bilaga 3-4). Motsvarande värden i kronor per ton TS var 312 respektive 340 (bilaga 3-4). Den skillnad i kostnad som uppkom mellan bruna och gröna buntlass beror av att det bruna materialet hade högre torrhalt än det gröna materialet, och därigenom ett högre energiinnehåll.

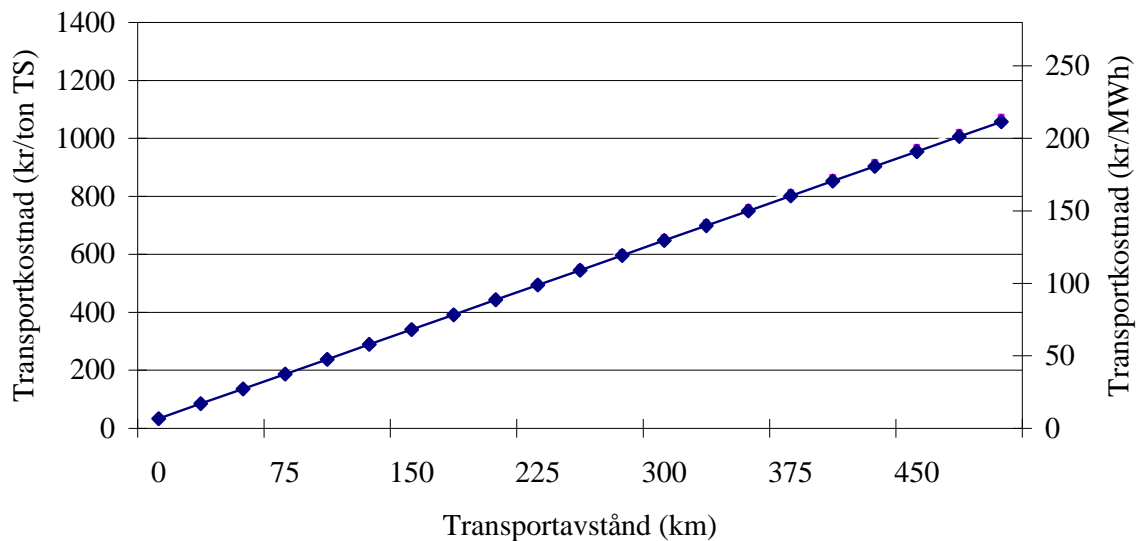
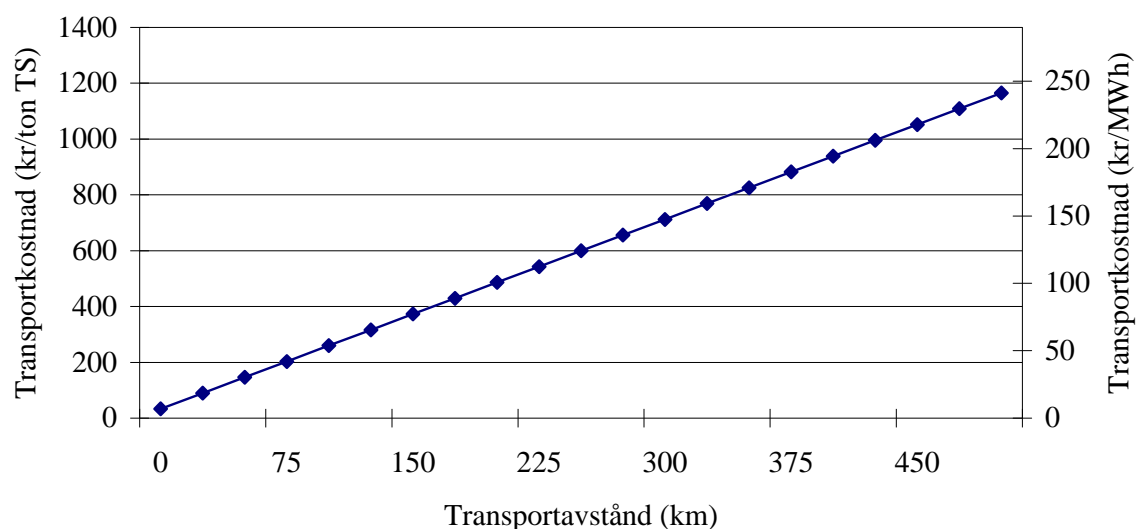
**Figure 8.** Transportkostnad för lass med bruna grotbuntar (21,5 ton/lass) som funktion av transportavstånd.

Figure 8. Transport costs for loads with brown LR bundles (21,5 tonnes/load) as a function of transport distance.



Figur 9. Transportkostnad för lass med gröna grotbuntar (21,5 ton/lass) som funktion av transportavstånd.

Figure 9. Transport costs for loads with green LR bundles (21,5 tonnes/load) as a function of transport distance.

Kostnaden för grotkotning beräknades till 161,2 kr/ton TS (33,3 kr/MWh) för båda grottyperna (tabell 15).

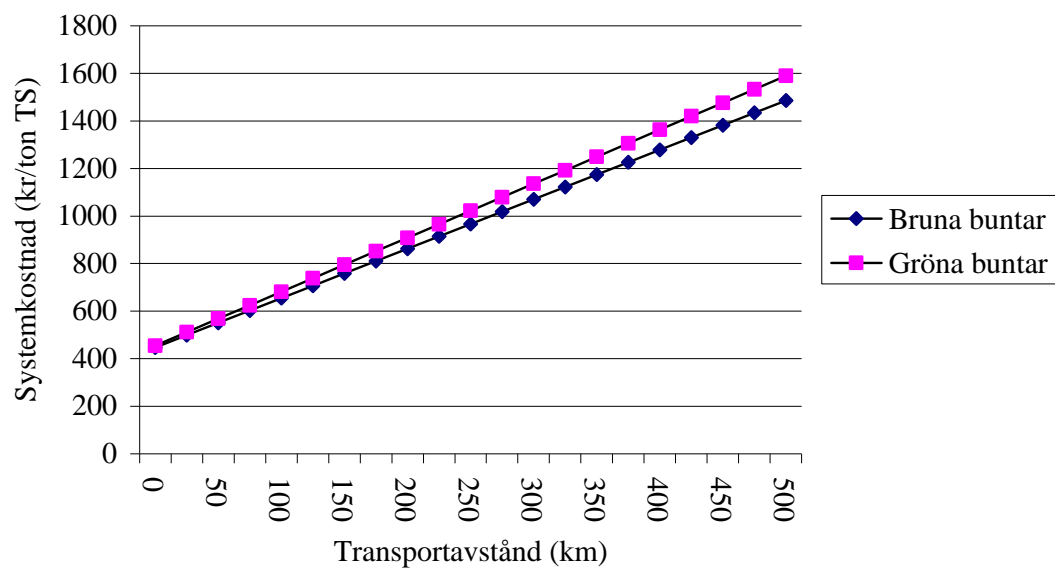
Fasta systemkostnader (kostnader som inte var beroende av transportavståndet) var för bruna buntar 447,2 kr/ton TS (89,7 kr/MWh) och för gröna buntar 454,9 kr/ton TS (94,0 kr/MWh) (tabell 15).

Tabell 15. Jämförelse mellan kostnadsposter för sortimentet bruna grotbunt respektive gröna grotbuntar

Table 15. Comparison of cost for the assortment of brown bundles and green bundles

Aktivitet Activity	Bruna buntar Brown bundles		Gröna buntar Green bundles	
	kr/ton TS	kr/MWh	kr/ton TS	kr/MWh
	SEK/tonnes	SEK/MWh	SEK/tonnes	SEK/MWh
	DM	DM	DM	DM
Grotskotning LR forwarding	161,2	33,3	161,2	33,3
Buntning Bundling	197,5	38,9	206,3	42,6
Lastning Loading	21,9	4,3	19,12	3,95
Lossning Unloading	12,2	2,4	14,23	2,94
Krossning Crushing	54,3	10,7	54,0	11,2
Summa Sum	447,2	89,7	454,9	94,0

Skillnaderna i kostnad mellan bruna och gröna buntar ökade med ökat transportavstånd (figur 10).



Figur 10. Totala kostnader för bruna och gröna buntar som funktion av transportavstånd.

Figure 10. Total cost of brown and green bundles as a function of transport distance.

4 Diskussion

Huvudproblemet vid denna typ av studier är att åstadkomma likartade villkor. Tre strategier finns för detta (Bergstrand, 1987):

1. Konstanthållning
2. Upprepning
3. Mätning med normering

Genom att samma förare körde respektive maskin under respektive delstudie, hölls variabeln förare konstant. Likartade försökslokaler studerades. Genom upprepning av moment utjämnas de avvikelser som fanns inom försökslokalen. Med mätning och normering menas att avvikelser tas med i analysen. Samtliga tre strategier har använts i denna studie och diskuteras nedan.

4.1 Buntar

Med en medeldiameter på 0,88 m för brun bunt och 0,87 m för grön så var diametern större än det av tillverkaren angivna måttet på 0,80 m. För att optimera lastutnyttjandet borde buntarnas diameter anpassas efter lastutrymmets bredd. Lastutrymmet på lastbilen var 2,33 m brett. Närmast låg att lasta tre buntar på bredden och då borde diametermåttet minskas till cirka 0,77 m. Buntens form var av stor betydelse vid transport till kund. Buntarna var inte helt symetriska. På mitten var diametern signifikant större för bruna buntar än för gröna buntar. Om buntarna storlek varierar mycket, framförallt dess diametrar, skapas problem med kostsamma transporter på grund av att lågt lastutnyttjandet erhålls och därigenom låga lastvikter.

Även buntarnas styvhet var ett problem. Buntar med låg komprimeringsgrad var svåra att hantera med längre hanteringstider och substansförluster som resultat. Vid lastningsarbetet i krossen noterades vissa problem med buntarnas styvhet. Ett antal buntar hade låg styvhet och klarade momentet med knapp marginal. Gröna buntar uppfattades som något mera benägna att sakna styvhet. Bruna buntar hade dock en benägenhet att lättare gå sönder (J. Jonsson, pers.komm., 2008). Troligen berodde detta på att delar av det bruna materialet hade kollapsat redan vid komprimeringen i grotbuntaren, medan grönt material med högre seghet höll ihop bättre. Storleksmässigt hanterades buntarna utan problem både i volym- och vikhänseende både med materialhanterare och med kross.

4.2 Maskiner

Komprimeringen för *Rogbico GTK 5100* utfördes satsvis och föraren ansvarade för att fördela materialet i komprimeringsutrymmet. Den ackumulerande kranvågen användes av förarna för att reglera buntarnas storlek. Stor massa gav vanligen en stor bunt och vice versa. Det fanns ingen annan möjlighet för föraren att ändra buntens diametrar än att lägga i mindre massa i komprimatorn. Detta uppfattades som ett problem då råvaran inte var homogen och det fick till följd att buntarnas medeldiameter varierade. Genom att arbeta med ett högre komprimeringstryck skulle det vara möjligt att därigenom utjämna skillnader i diameter utefter buntens längd.

Grotbuntaren hade tre bandmaskiner. Problem med dessa var den vanligaste anledningen till avbrott på maskinen under studien. Speciellt den mittersta bandmaskinen drogs med

problem. Vanligaste orsaken var att buntbandet spårad ur p.g.a. att kvistar och barr kom in i den anordning som styrde buntbandet. Kranen fungerade bra under hela studien. Gripens storlek uppfattades som lämplig. Den såg som var monterad på gripen användes flitigt. Generellt fungerade *Rogbico GTK 5100* bra under studien och inga längre avbrott inträffade.

Scania R500 med släp anpassad för grottransport var ett välbyggt ekipage. Funktionaliteten var god och inga driftsstörningar uppkom under tidsstudierna. Lastutrymmets täcksidor var väl utformade och var nödvändiga för att minska risken att delar av lasten föll av under färd. Kranen hade inga problem att hantera de stora buntarna och gripen ansågs lämplig för uppgiften.

CBI 8400 med krossrotor samt materialhanterare *CAT M322C MH* ansågs vara ett funktionellt och väl sammansatt ekipage. Funktionalitet och produktivitet var hög. Några brott på buntbanden orsakade extra kranarbete med att lasta trasigt buntmaterial i krossen. Samtliga band som gick av var placerat på buntens mitt.

4.3 Tidsåtgång

Det grundläggande problem som finns med denna studie när det gäller att jämföra bruna och gröna buntar är att materialet härrörde från olika bestånd med framförallt olika hög tallandel. Detta var ett problem som vi var medvetna om när studien planerades, men av praktiska skäl kunde inget göras åt det. Det innebär tyvärr att de skillnader som erhållits rörande produktivitet, buntstorlek etc. inte säkert kan tillskrivas som skillnader mellan grönt och brunt material. Studien får dock ändå ses som intressant eftersom den åtminstone kan betraktas som två separata studier på olika material från olika bestånd.

Ingen signifikant skillnad uppmättes i total tid vid buntproduktion mellan bruna och gröna grotbuntar. Komprimering av brun grot genomfördes dock signifikant snabbare än för grön. Trolig orsak till detta var att brunt material bröts av medan grönt material hade högre elasticitet.

Inga stora skillnader fanns gällande vältornas yttermått. Vältan med grön grot i Ytterfors ansågs vara en riktigt bra välta. Generellt ansågs båda vältorna vara representativa vältor för regionen men viss skillnad förelåg. Den gröna vältan var något bättre vilket borde ha inneburit att produktiviteten vid buntning borde ha varit högre då grön grot buntades. Det ansågs negativt med hög andel löv, och i synnerhet björk, då dess långa kvistar spretade kraftigt och var svårhanterade vid lastningsarbetet i komprimatorn. Andelen stamved i vältan var viktig. Stamveden användes för att öka buntens styvhet.

Lastningen av brunt material i komprimatorn tog något längre tid än för grönt material. Den bruna vältan hade troligen högre densitet då den packats ihop av sin egen massa under längre tid samt utsatts för snölast vintertid. Detta gjorde att beredningsarbetet tog längre tid per grip. Genom att studera standardavvikelsen för total tid per sortiment framkom det att total tid varierade mera för bruna buntar. Trolig orsak var att brun grot var svårare att separera från vältan.

Parallellt med detta användes kransågen signifikant oftare vid brun grot. Troligen var detta en av anledningarna till att brun grot komprimerades snabbare än grön.

4.4 Produktivitet

Vilket sortiment som genererade högst produktivitet berodde av vilken enhet som valdes för att mäta produktiviteten vid buntning. Om det var flest antal buntar per timme samt rå massa som användes var produktiviteten cirka 8 % högre för grön grot. Användes massa mätt som TS, så var det ombytta roller. Då var produktiviteten cirka 6 % högre för brun grot. Om antalet MWh/h var vald enhet så blev resultatet 9 % högre för brun grot.

Antalet buntar per lass var det som ytterst var att betrakta som produktivitet för lastbilsekipaget, då en av eventuella vinster med grotbuntning var att öka lastvikter vid transporten. Att lastvikterna endast kom upp i ca 71 % i medeltal av max lastutnyttjande var klart lägre än vad författaren hade räknat med.

4.5 Ekonomi

Kostnaden (kr/ton TS) för buntning av grot till buntar var ca 4 procent lägre för brunt material än för grönt. Lastningskostnaden var 14 procent högre för bruna buntar medan lossningskostnaden var 14 procent lägre. Kostnaden för att transportera buntarna 150 km var 8 procent lägre för bruna buntar. Vid krossningsarbetet var det ingen skillnad i kostnad per sortiment.

Vid analys av totala systemkostnader visade de ekonomiska beräkningarna att det alltid var lönsammare att hantera brunt material jämfört mot grönt. Vid ett transportavstånd på 50 km var skillnaden 3 procent, vid 150 km var skillnaden 5 procent och vid 450 km var skillnaden 6 procent.

4.6 Jämförelse med befintligt system

Som jämförande system valdes lösgrotssystemet då det systemet innehöll samma arbetsmoment, med undantag av buntning. Produktivetsdata från systemet med lös grot baserades på en intervju med föraren av den grotbil som ingick i studien. Föraren baserade sina data på drygt tre års erfarenhet av transport av lös grot med aktuellt ekipage eller motsvarande. Enligt föraren tog lastningen av brun lös grot 45 min och lossningen genomfördes på 20 min. Motsvarande siffror för grön lös grot var 40 min respektive 20 min. Vid körning av hela lass med lös grot var lastvikten i medeltal cirka 14 ton.

Då inga egna produktivetsdata framtagits för systemet med lös grot i får resultaten tolkas och läsas med en nypa salt av läsaren. Systemjämförelsen mellan lös grot och buntat material var ändå intressant att göra och kunde ge en fingervisning om vart i de olika systemen det fanns potentiella skillnader.

Produktiviteten vid lastning var nästan tre gånger högre för bruna buntar jämfört mot brunt obuntat material. Vid lastning av bruna buntar var produktiviteten 34,2 ton TS/G₀-tim medan motsvarande värde för brun lös grot var 11,6 ton TS/G₀-tim (tabell 16). Då gröna buntar lastades var produktiviteten 39,5 ton TS/G₀-tim och då grön grot lastades 11,5 ton TS/G₀-tim (tabell 16). Vid lossning var produktiviteten för bruna buntar 61,6 ton TS/G₀-tim och för motsvarande obuntat material 26,1 ton TS/G₀-tim (tabell 16). Motsvarande värden för grönt material var 52,8 ton TS/G₀-tim respektive 23,1 ton TS/G₀-tim (tabell 16).

Ett lass med brunt buntat material innehöll 13,4 ton TS medan ett lass med brunt obuntat material innehöll 8,7 ton TS (tabell 16). För grönt material var motsvarande värden 11,8 ton TS respektive 7,7 ton TS (tabell 16).

Vid krossningsmomentet valdes krossning av lös grot som jämförande system. Kapaciteten vid krossning av lös grot var 45,6 ton TS/G₀-tim (tabell 16) (Eriksson, 2008).

Tabell 16. Produktivitet per sortiment
Table 16. Productivity per assortment

Aktivitet <i>Activity</i>	Grotsortiment <i>Logging residue assortment</i>			
	Brun bunt <i>Brown bundle</i>	Brun lös <i>Brown loose</i>	Grön bunt <i>Green bundle</i>	Grön lös <i>Green loose</i>
Lastning (ton TS/G ₀ -tim) <i>Loading</i> (tonnes DM/E ₀ -hour)	34,2	11,6	39,5	11,5
Lossning (ton TS/G ₀ -tim) <i>Unloading</i> (tonnes DM/E ₀ -hour)	61,6	26,2	52,8	23,1
Transport (ton TS/lass) <i>Transport</i> (tonnes DM/load)	13,4	8,7	11,8	7,7
Krossning (ton TS/G ₀ -tim) <i>Crushing</i> (tonnes DM/E ₀ -hour)	73,0	45,6 ¹⁾	74,0	45,6 ¹⁾

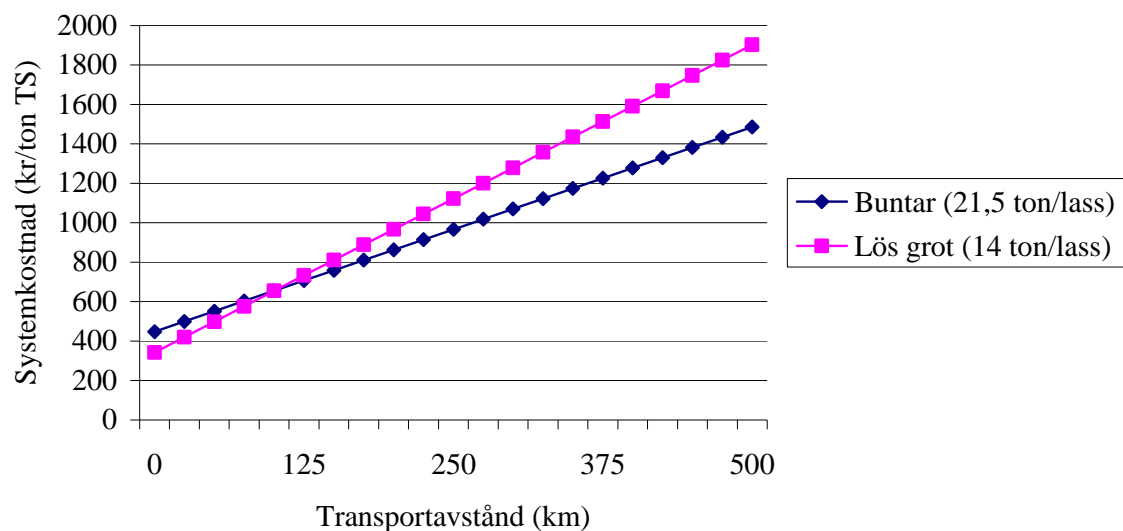
¹⁾ Medelvärde för brun och grön grot.

För att beräkna kostnaderna per aktivitet och sortiment dividerades aktuell timkostnad med respektive aktivitets produktivitet. För sortimenten bunt adderades kostnadsposten för buntning. För brunt material var kostnaden 197,5 kr/ton TS och för grönt material 206,3 kr/ton TS. För bruna buntar var summan av de fasta kostnaderna 447 kr/ton TS medan kostnaden för brunt löst material var 319,4 kr/ton TS (tabell 17). Motsvarande värden för grönt material var 454,9 kr/ton TS respektive 358,6 kr/ton TS (tabell 17).

Tabell 17. Jämförelse mellan kostnadsposter för buntar och lös grot
Table 17. Comparison of cost for bundles and uncompressed LR

Aktivitet <i>Activity</i>	Brun bunt <i>Brown bundles</i>		Brun lös <i>Brown loose</i>	
	kr/ton TS	kr/MWh	kr/ton TS	kr/MWh
	<i>SEK/tonnes</i>	<i>SEK/MWh</i>	<i>SEK/tonnes</i>	<i>SEK/MWh</i>
	<i>DM</i>		<i>DM</i>	
Grotskotning <i>LR forwarding</i>	161,2	33,3	161,2	33,3
Buntning <i>Bundling</i>	197,5	38,9	0	0
Lastning <i>Loading</i>	21,9	4,3	48,7	9,6
Lossning <i>Unloading</i>	12,2	2,4	21,7	4,3
Krossning <i>Crushing</i>	54,3	10,7	87,8	17,3
Summa <i>Sum</i>	447,2	89,7	319,4	64,5
	Grön bunt <i>Green bundle</i>		Grön lös <i>Green loose</i>	
	kr/ton TS	kr/MWh	kr/ton TS	kr/MWh
	<i>SEK/tonnes</i>	<i>SEK/MWh</i>	<i>SEK/tonnes</i>	<i>SEK/MWh</i>
	<i>DM</i>		<i>DM</i>	
Grotskotning <i>LR forwarding</i>	161,2	33,3	161,2	33,3
Buntning <i>Bundling</i>	206,3	42,6	0	0
Lastning <i>Loading</i>	19,12	3,95	65,05	13,44
Lossning <i>Unloading</i>	14,23	2,94	32,53	6,72
Krossning <i>Crushing</i>	54,0	11,2	99,8	20,6
Summa <i>Sum</i>	454,9	94	358,6	74,1

Då den del av transportkostnaden som var avståndsberoende adderades i systemkostnaden visade det sig att brun grot var lönsam att hantera som sortimentet bunt då transportavståndet var längre än 100 km (figur 11). Kostnaden var då 654 kr/ton TS (131 kr/MWh) (bilaga 3-4). För grönt material var brytpunkten vid 75 km. Kostnaden var då 625 kr/ton TS (129 kr/MWh) (bilaga 5-6).



Figur 11. Systemkostnad för ett brunt buntsystem jämfört med ett brunt lösgrotssystem som funktion av transportavstånd.

Figure 11. System cost for a brown bundle system compared with a brown loose LR system as a function of transport distance.

Under studien visade det sig att det även fanns vinster att hämta för buntsystemet vid lastning, lossning samt krossning av buntar jämfört mot lös grot. En ytterligare fördel för buntsystemet var att dess buntar var att betrakta som ett nytt sortiment som hade fördelar vid efterföljande hantering i försörjningskedjan. Vid värmeverk uppskattas sortimentet bunt då det är enklare och snabbare att hantera än lös grot vid terminalarbete samt sönderdelning.

4.7 Förbättringsförslag

Med studiens resultat som grund anser författaren att det är buntens form i kombination med hög massa som skall optimeras. En optimal bunt skall vara cylindrisk och så lång som lastutrymmet tillåter. Vald diametern skall vara lastutrymmets bredd delat med ett heltal, förslagsvis talet tre.

För att förbättra maskinen föreslås följande;

1. **Maskinen bör modifieras så att buntarnas diameter minskar.** Därigenom höjs produktiviteten vid lastbilstransporten, vilket är mycket positivt för systemets totalekonomi.
2. **Buntarnas längd bör kunna anpassas till lastutrymmets längd på lastbilen.** Detta bör kunna uppnås för olika typer av lastbilar för högre lastutnyttjande.
3. **Komprimeringstrycket bör höjas.** Tätare/mera komprimerade buntar ger mera massa per bunt samt ökad styvhet.
4. **Bandmaskinernas tekniska nyttjandegrad bör höjas.** Genererar i dagsläget för stor andel kostsam stilleståndstid.
5. **Byte av kranhytt.** Bör vara anpassad till kontinuerligt arbete för att erbjuda bättre förarmiljö.

Genom att utöka antalet bandmaskiner till fyra stycken skulle en del av problemen med buntbandsbrott eventuellt kunna minskas. I dagsläget är ett av banden placerat på mitten av buntens där man också tar tag med gripen vid hantering och lossning. Vid ett antal tillfällen har detta lett till att buntbandet gått av. Fördelen med fyra band skulle minska dessa problem. Nackdelar är att det kräver omfattande förändringar på komprimatorn samt ökade kostnader för buntband.

Generellt anses att några av de problem som finns beror på det produktionssätt som valts nämligen satsvis produktion. Vid kontinuerlig produktion skapas buntar som får en jämnare form samt gör att buntarnas densitet blir mera homogen. Då buntar från kontinuerlig produktion kan kapas vid önskad längd kan buntarnas längd bättre anpassas till lastbilarnas lastutrymme. Även bandningen torde gynnas av kontinuerlig produktion då band viras runt utmed hela buntens längd. Detta bör ge styvare buntar som tål flera led av hantering utan materialförluster och kollaps.

Då produktionen av buntar var förarberoende bör uppföljning av förarnas produktivitet genomföras regelbundet. Parallellt med detta borde utbildning i effektivitetshöjande åtgärder och arbetssätt genomföras. Då komprimeringstid per bunt var relativt konstant borde fokus ligga på att minska tiden för lastning och lossning. Utbildning i krankörning ses som ett prioriterat område då denna aktivitet upptog över 60 % av den totala verktiden för lastbilsbuntaren.

Krossningen borde kunna effektiviseras, marginellt, genom att utöka det utrymme som buntarna lastas i. Genom att montera, förslagsvis några plåtar, skulle troligen en del av det spill som uppkommer runt området minskas. Material som lossnar från buntarna skulle matas direkt in i krossen och även tidsåtgång för efterföljande städning av virkesplan skulle minskas.

Ovanstående lösningar syftar till att förbättra dagen befintliga maskiner som ingår i systemet. Grotlastbil och kross får anses vara mogna produkter. Då den studerade lastbilsbuntaren är den första serietillverkade finns det potential att göra förändringar som höjer produktiviteten. Genom att undvika att producera cylindriska buntar och istället försöka producera en bunt med kvadratisk tvärsnittsarea ökas det teoretiska maximala lastutnyttjandet med 27 % med avseende på volym (Danielsson et al., 1977).

Vid förändring av komprimatorn, så att buntar med kvadratisk tvärsnittsarea produceras, beräknas systemkostnaden bli 22 procent lägre vid 150 km transportavstånd för bruna buntar med kvadratisk tvärsnittsarea jämfört mot bruna cylindriska grotbuntar. Med en rådensitet på $231,3 \text{ kg/m}^3$ för bruna grotbuntar och en total lastvolym på 124 m^3 beräknades lastvikten till 28,7 ton för kvadratiske buntar. Då maximal lastkapacitet i massa var 31,2 ton beräknades lastutnyttjandet till 92 %. Motsvarande värden för gröna grotbuntar beräknades till $238,3 \text{ kg/m}^3$. Då var lastvikten 29,5 ton vilket var hela 95 % av maximalt lastutnyttjande. Ovanstående beräkningar förutsatte att buntarnas storlek var optimalt anpassade till lastbilsekipagets lastutrymme samt att buntarna kunde lastas nära varandra så att inte outnyttjat lastutrymme mellan buntarna uppstod.

4.8 Behov av fortsatta studier

I studien krossades material under torra och varma förutsättningar. Intressant vore att genomföra en studie av systemet vintertid för att undersöka eventuella problem och möjligheter som kan bero av snö och kyla.

I dagsläget tas grot tillvara från talldominerade trakter i mycket begränsad omfattning. Med ökad efterfrågan på biobränsle är det tänkbart att även dessa trakter blir intressanta för uttag av grot. Det skulle därför vara intressant att studera systemet på några rena talltrakter eftersom tallens grövre kvistar eventuellt kan vara en faktor som påverkar lastnings- och komprimeringsarbetet.

4.9 Slutsatser

Som helt ny produkt på marknaden uppvisade lastbilsbuntaren förbättringspotential. Det var önskvärt att kunna justera maskinen så att buntarnas diameter blev valbar. Genom höjning av komprimeringstrycket kunde buntarnas densitet öka med högre lastvikter som följd. Bandmaskinerna var det som genererar störst andel problem vid praktisk drift. En lösning på det problemet ansågs prioriterat för att kunna öka maskinens tekniska nyttjandegrad. Även byte av kranhytt till en större och mera ändamålsenlig hytt ansågs prioriterat då förarmiljön därigenom borde kunna förbättras.

Det valda transportsystemet med en grotbil med täckta sidor samt släp, ansågs vara ett bra val för detta biobränslesystem. Produkten var mogen och beprövad teknik användes.

Krossningen av grotbuntarna genomfördes snabbt och rationellt. Kross med materialhanterare ansågs även det vara ett bra val. Maskinerna arbetade med buntarna utan att några problem uppkom.

Vid ett transportavstånd längre än 100 km var det lönsammare att hantera brunt material som sortimentet buntar, jämfört mot obuntat material. Motsvarande transportavstånd för grönt material var 75 km.

Referenser

Litteraturkällor

- Bergstrand, K-G. 1987. Planering och analys av skogstekniska tidsstudier. Meddelande nr 17. Skogsarbeten, Kista.
- Danielsson, B-O. et al. 1977. Komprimering av klena träd och träddeklar. Institutionen för skogsteknik, Skogshögskolan, Garpenberg. Rapport nr 119.
- Eriksson, P. 2008. Upparbetning av tre olika sortiment; GROT, brännved och buntar. SLU-Skogsmästarskolan, Skinnskatteberg. Arbetsrapport nr 7. Examensarbete.
- Engblom, G. 2007. Systemanalys av skogsbränsletransporter. Skogsteknologi, SLU, Umeå. Arbetsrapport nr 175. Examensarbete.
- Johansson, P. 2007. Tidsstudie av en grotbuntare monterad på lastbilschassi. Svea Skog.
- Lindroos, O. et al. 200X. Productivity of logging residue bundling by a truck mounted prototype. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Manuskript.
- Löfgren, A. 2004. En jämförelse av tre system för uttag av GROT efter slutavverkning. Skogsteknologi, SLU, Umeå. Studentuppsats nr 74.
- Pettersson, M. 2006. Grotskotning-Driftsuppföljning och tidsstudie. Delrapport inom projektet "Samverkan för utveckling och förädling av regionens outnyttjade skogsresurser". SLU/Energidalen i Sollefteå AB.
- Pettersson, M. & Nordfjell, T. 2007. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. Biomass and Bioenergy 31:11-12, 782-792.
- Nordfjell, T. & Liss, J-E. 2000. Compressing and Drying of Bunched Trees from a Commercial Thinning. Scandinavian Journal of Forest Research 15:2, 284-90.
- Ringman, M. 1996. Trädbränslesortiment - definitioner och egenskaper. Institutionen för virkeslära, SLU, Uppsala. Rapport nr 250.
- SS 18 71 70 Svensk standard för analys av torrhalt
- SS 18 71 71:1 Svensk standard för analys av askhalt
- SS-ISO 1928:1 Svensk och internationell standard för analys av värmevärde
- Thörnkvist, T. 1983. Bränsleflisens förändring under ett års lagring. Institutionen för virkeslära. SLU. Rapport nr 148.

Elektroniska källor

Allan Bruks AB. Hemsida [Online] (2009-05-10) Tillgänglig:

http://www.allanbruks.se/files/Rogbico_GTK_5100_SWE.pdf [2009-05-10]

CBI. Hemsida [Online] (2008-11-28) Tillgänglig:

<http://www.cbi-inc.com/countries/swedish.aspx> [2008-11-28]

Bioenergiportalen. Hemsida. [Online] (2009-02-28) Tillgänglig:

<http://www.bioenergiportalen.se/?p=1416&m=878> [2009-01-12]

Energimyndigheten. Hemsida. [Online] (2008-05-28) Tillgänglig:

<http://www.swedishenergyagency.se/web/biblshop.nsf/frameset.main?ReadForm&Doc=1965> [2008-05-28]

Regeringen. Hemsida. [Online] (2008-05-28) Tillgänglig:

<http://www.regeringen.se/content/1/c6/06/62/80/bf5c673c.pdf> [2008-05-28]

Virkesmättningsrådet. Hemsida. [Online] (2008-05-28) Tillgänglig:

<http://www.virkesmatningsradet.org/default.asp?id=1220> [2008-05-28]

Virkesmättningsrådet. Hemsida [Online] (2008-12-08) Tillgänglig:

<http://www.virkesmatningsradet.org/Admin/html/vmr/html/pdf/biobrans.doc>
[2008-12-08]

Personlig kommunikation

Brekke, Peter. Rebio AB, Skogens Hus, Skeppargatan 1, Box 4086, 904 03 Umeå

Bruks, Anders. Allan Bruks AB, Ullevivägen 22, 197 40 Bro

Johansson, Lars. Johanssons Åkeri AB, Bygdegatan 8, 937 33 Bygdsiljum

Jonsson, Joel. Skellefteå Kraft AB, 931 80 Skellefteå

Östergren, Erik. Erik Östergren i Alvesta AB, Aringsås Grönsången 1, 342 34 Alvesta

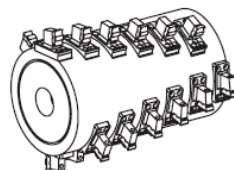
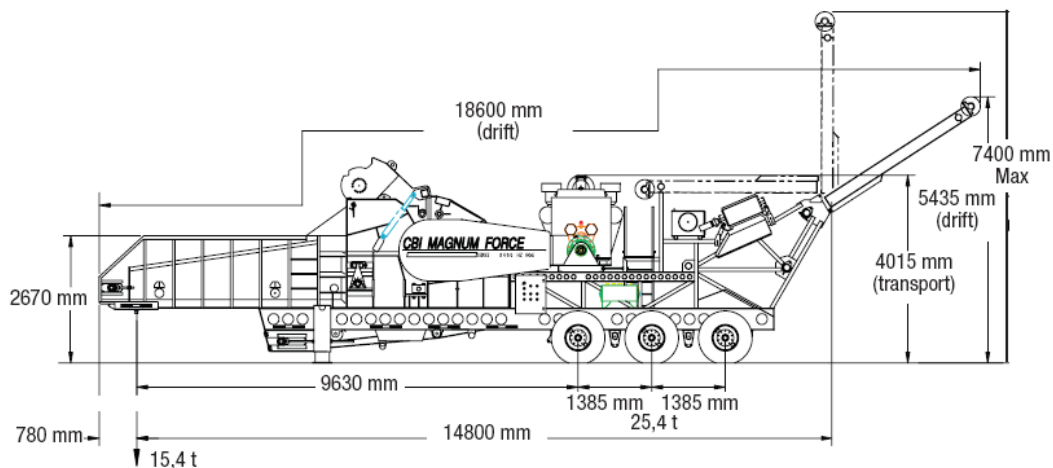
Bilaga 1. Tekniska data Rogbico GTK 5100



Tekniska data		
Längd		7 830 mm
Bredd		2 750 mm
Höjd		3 400 mm
Vikt ca		12 900 kg
Komprimeringskraft		930 kN

Källa: Anon 2008 a. Allan Bruks AB.

Bilaga 2. Tekniska data CBI 8400



Smidd Stål Rotor, med bultade hammare och tänder, utvecklad för grönavfall, ris, stubbar, stamved, träddelar etc.

Specifikationer

Allmänt

Längd	ca 14,8 m (transport), ca 18,6 m (drift)
Höjd	ca 4 m
Bredd	ca 3,3 m (std chassi) ca 3 m (EU chassi)
Vikt	ca 40 – 44 ton

Inmatnings transportör

Längd	4,9 m
Bredd	1,52 m

Rotor

	<i>Smidd</i>	<i>Solid</i>	<i>Hugg</i>
Längd	1,52 m	1,52 m	1,52 m
Diameter	1,27 m	1,27 m	1,22 m
Godstjocklek	100 mm	i.u.	50 mm
Antal tänder	24	20	i.u.
Vikt hammare kg/st ca	26	i.u.	i.u.
Tänder vändbara kg/st	2,3	11,5	i.u.
Vikt huggknivar kg/st	i.u.	i.u.	29
Rotor vikt kg ca	5700	8600	4900

Utmatnings transportör

Längd	15,2 m
Bredd	1,52 m
Avlastningshöjd	5,4 meter

Kapacitet

upp till 200 ton/tim

Dieselmotor

CAT 3412E, 1050 hk (under 2006 med CAT C27 eller C32 med effekt upp till 1300 hk)

Remtransmission

komplett med 12-14 st 8-V remmar och remskydd

Källa: Anon 2008 b. CBI.

Bilaga 3. Systemkostnad brun buntad grot

Kostnader beroende av transportavstånd				
<i>Costs as a function of transport distance</i>				
	kr/ton TS		kr/MWh	
	<i>SEK/tonnes DM</i>		<i>SEK/MWh</i>	
Grotskotning	161,2		33,3	
<i>LR forwarding</i>				
Lastning	21,9		4,3	
<i>Loading</i>				
Lossning	12,2		2,4	
<i>Unloading</i>				
Buntning	197,5		38,9	
<i>Bundling</i>				
Krossning	54,3		10,7	
<i>Cruching</i>				
Summa	447,2		89,7	
<i>Sum</i>				

Transport- avstånd	Trp. kostnad	Total kostnad	Trp. kostnad	Total kostnad
<i>Transport</i>	<i>(kr/ton TS)</i>	<i>(kr/ton TS)</i>	<i>(kr/MWh)</i>	<i>(kr/MWh)</i>
<i>distance</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>
<i>(Km)</i>	<i>(SEK/tonnes DM)</i>	<i>SEK/tonnes DM</i>	<i>SEK/MWh</i>	<i>SEK/MWh</i>
0	0,0	447,2	0,0	89,7
25	51,9	499,1	10,2	99,9
50	103,9	551,0	20,5	110,1
75	155,8	603,0	30,7	120,4
100	207,8	654,9	40,9	130,6
125	259,7	706,9	51,2	140,8
150	311,7	758,8	61,4	151,1
175	363,6	810,8	71,7	161,3
200	415,6	862,7	81,9	171,5
225	467,5	914,7	92,1	181,8
250	519,5	966,6	102,4	192,0
275	571,4	1018,6	112,6	202,2
300	623,4	1070,5	122,8	212,5
325	675,3	1122,5	133,1	222,7
350	727,3	1174,4	143,3	233,0
375	779,2	1226,4	153,5	243,2
400	831,2	1278,3	163,8	253,4
425	883,1	1330,3	174,0	263,7
450	935,1	1382,2	184,3	273,9
475	987,0	1434,2	194,5	284,1
500	1039,0	1486,1	204,7	294,4

Bilaga 4. Systemkostnad brun lös grot

Kostnader beroende av transportavstånd				
<i>Costs as a function of transport distance</i>				
	kr/ton TS		kr/MWh	
	<i>SEK/tonnes DM</i>		<i>SEK/MWh</i>	
Grotskotning	161,2		33,3	
<i>LR forwarding</i>				
Lastning	64,4		12,7	
<i>Loading</i>				
Lossning	28,6		5,6	
<i>Unloading</i>				
Buntning	0,0		0,0	
<i>Bundling</i>				
Krossning	87,8		17,3	
<i>Crushing</i>				
Summa	342,0		68,9	
<i>Sum</i>				

Transport- avstånd	Trp. kostnad	Total kostnad	Trp. kostnad	Total kostnad
<i>Transport</i>	<i>(kr/ton TS)</i>	<i>(kr/ton TS)</i>	<i>(kr/MWh)</i>	<i>(kr/MWh)</i>
<i>distance</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>
<i>(Km)</i>	<i>(SEK/tonnes DM)</i>	<i>SEK/tonnes DM</i>	<i>SEK/MWh</i>	<i>SEK/MWh</i>
0	0,0	342,0	0,0	68,9
25	78,0	420,1	15,4	84,3
50	156,1	498,1	30,8	99,7
75	234,1	576,2	46,1	115,1
100	312,2	654,2	61,5	130,5
125	390,2	732,3	76,9	145,8
150	468,3	810,3	92,3	161,2
175	546,3	888,4	107,7	176,6
200	624,4	966,4	123,0	192,0
225	702,4	1044,5	138,4	207,3
250	780,5	1122,5	153,8	222,7
275	858,5	1200,5	169,2	238,1
300	936,6	1278,6	184,5	253,5
325	1014,6	1356,6	199,9	268,9
350	1092,7	1434,7	215,3	284,2
375	1170,7	1512,7	230,7	299,6
400	1248,8	1590,8	246,1	315,0
425	1326,8	1668,8	261,4	330,4
450	1404,8	1746,9	276,8	345,8
475	1482,9	1824,9	292,2	361,1
500	1560,9	1903,0	307,6	376,5

Bilaga 5. Systemkostnad grön buntad grot

Kostnader beroende av transportavstånd				
<i>Costs as a function of transport distance</i>				
	kr/ton TS		kr/MWh	
	<i>SEK/tonnes DM</i>		<i>SEK/MWh</i>	
Grotskotning	161,2		33,3	
<i>LR forwarding</i>				
Lastning	19,1		4,0	
<i>Loading</i>				
Lossning	14,2		2,9	
<i>Unloading</i>				
Buntning	206,3		42,6	
<i>Bundling</i>				
Krossning	54,0		11,2	
<i>crushing</i>				
Summa	454,9		94,0	
<i>Sum</i>				
Transport- avstånd	Trp. kostnad (kr/ton TS)	Total kostnad (kr/ton TS)	Trp. kostnad (kr/MWh)	Total kostnad (kr/MWh)
<i>Transport distance</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>
(Km)	(SEK/tonnes DM)	SEK/tonnes DM	SEK/MWh	SEK/MWh
0	0,0	454,9	0,0	94,0
25	56,7	511,6	11,7	105,7
50	113,5	568,3	23,4	117,4
75	170,2	625,1	35,2	129,1
100	227,0	681,8	46,9	140,9
125	283,7	738,5	58,6	152,6
150	340,4	795,3	70,3	164,3
175	397,2	852,0	82,1	176,0
200	453,9	908,8	93,8	187,8
225	510,6	965,5	105,5	199,5
250	567,4	1022,2	117,2	211,2
275	624,1	1079,0	128,9	222,9
300	680,9	1135,7	140,7	234,6
325	737,6	1192,5	152,4	246,4
350	794,3	1249,2	164,1	258,1
375	851,1	1305,9	175,8	269,8
400	907,8	1362,7	187,6	281,5
425	964,5	1419,4	199,3	293,3
450	1021,3	1476,1	211,0	305,0
475	1078,0	1532,9	222,7	316,7
500	1134,8	1589,6	234,4	328,4

Bilaga 6. Systemkostnad grön lös grot

Kostnader beroende av transportavstånd				
<i>Costs as a function of transport distance</i>				
	kr/ton TS		kr/MWh	
	<i>SEK/tonnes DM</i>		<i>SEK/MWh</i>	
Grotskotning	161,2		33,3	
<i>LR forwarding</i>				
Lastning	65,1		13,4	
<i>Loading</i>				
Lossning	32,5		6,7	
<i>Unloading</i>				
Buntning	0,0		0,0	
<i>Bundling</i>				
Krossning	99,8		20,6	
<i>crushing</i>				
Summa	358,6		74,1	
<i>Sum</i>				

Transport- avstånd	Trp. kostnad	Total kostnad	Trp. kostnad	Total kostnad
<i>Transport</i>	<i>(kr/ton TS)</i>	<i>(kr/ton TS)</i>	<i>(kr/MWh)</i>	<i>(kr/MWh)</i>
<i>distance</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>	<i>Trp. cost</i>	<i>Total cost</i>
<i>(Km)</i>	<i>(SEK/tonnes DM)</i>	<i>SEK/tonnes DM</i>	<i>SEK/MWh</i>	<i>SEK/MWh</i>
0	0,0	358,6	0,0	74,1
25	88,7	447,3	18,3	92,4
50	177,4	536,0	36,7	110,7
75	266,1	624,7	55,0	129,1
100	354,8	713,4	73,3	147,4
125	443,5	802,1	91,6	165,7
150	532,3	890,9	110,0	184,1
175	621,0	979,6	128,3	202,4
200	709,7	1068,3	146,6	220,7
225	798,4	1157,0	164,9	239,0
250	887,1	1245,7	183,3	257,4
275	975,8	1334,4	201,6	275,7
300	1064,5	1423,1	219,9	294,0
325	1153,2	1511,8	238,3	312,3
350	1241,9	1600,5	256,6	330,7
375	1330,6	1689,2	274,9	349,0
400	1419,3	1777,9	293,2	367,3
425	1508,1	1866,7	311,6	385,7
450	1596,8	1955,4	329,9	404,0
475	1685,5	2044,1	348,2	422,3
500	1774,2	2132,8	366,6	440,6